

*Космические аппараты и приборы***ДАТЧИКИ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ШАРОВОГО РОТОРА ГИРОСКОПА**

Кожевников П.В., Игнатовская А.А.

Научный руководитель: Игнатовская А.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [pvk8@tpu.ru](mailto:pvk8@tpu.ru)**ANGLE SENSORS FOR THE GYROSCOPE BALL ROTOR**

Kozhevnikov P.V., Ignatovskaya A.A.

Scientific Supervisor: Ignatovskaya A.A.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [pvk8@tpu.ru](mailto:pvk8@tpu.ru)

*Рассматриваются общие вопросы, связанные с конструктивными и технологическими особенностями исполнения датчиков углового положения для разрабатываемого гироскопа с газодинамическим подвесом шарового ротора. Приводится краткое описание основных элементов конструкции. Проведен аналитический обзор потенциальных датчиков съема информации об угловом положении шарового ротора; обозначены основные характеристики каждого из типов. Показана конструкция и внешний вид имеющегося в наличии индукционного датчика углового положения; рассмотрены его принцип действия, достоинства и недостатки. Представлены краткие выводы о возможности применения исследуемых типов датчиков в предлагаемом конструктивном исполнении шарового гироскопа.*

*General issues relating to the design and technological features of the angle sensors realization for the developed ball gyroscope layout with a gas-dynamic suspension are considered. The brief description of the main construction layout elements is provided. The analytical review about the potential sensors of the ball rotor is presented; the key characteristics of the each type are specified. The design and physical configuration of the available flux valve sensor are shown; its functional principle, advantages and disadvantages are reviewed. The brief conclusions on the possibility to apply the considering types of sensors for the developed gyroscope design are presented.*

Инженеры в области космического приборостроения сделали огромный шаг в развитии приборов и систем, предназначенных для изучения и покорения космического пространства. Одним из многочисленных приборов, работающих в космическом пространстве, является гироскопическое устройство, которое служит для определения ориентации космического аппарата относительно инерциальной системы координат. Основными конструктивными элементами такого гироскопического устройства являются: датчик съема информации об угловом положении оси вращения ротора, электропривод, а также опорный узел чувствительного элемента гироскопа [1].

Основной целью аналитического исследования является изучение различных типов датчиков съема информации об угловом положении ротора гироскопического устройства, определение наиболее подходящего варианта датчика угла (ДУ) с учетом следующих требований:

1. В связи с реализацией газодинамического подвеса, ДУ должен отвечать определенным конструктивным особенностям;
2. ДУ должен быть достаточно точным для измерения малых отклонений оси вращения ротора, поскольку разрабатываемый гироскопический прибор предполагается использовать в качестве чувствительного элемента системы ориентации;
3. ДУ должен иметь малые массогабаритные параметры.

Разрабатываемый макет шарового гироскопа содержит следующие основные элементы: ротор, который представляет собой стандартный шарикоподшипниковый шарик, выполненный из стали марки ШХ15; полусферические опоры, в полости которых располагается шаровой ротор; электропривод, при помощи которого ротор приводится во вращение; датчик углового положения оси вращения ротора.

При подаче питания на электропривод (40 В, 1000 Гц), ротор приводится во вращение за счет возникающих вихревых токов на его поверхности и последующего взаимодействия с основным вращающимся магнитным полем электропривода. При дальнейшем вращении ротора, газ вовлекается в начальный зазор между полусферическими опорами и ротором, и при дальнейшем притоке газа в зазор возникает избыточное давление, вследствие чего ротор «всплывает», и при его вращении с номинальной скоростью обеспечивается режим постоянной газовой смазки.

На данный момент, для разрабатываемого макета шарового гироскопа используется индукционный тип ДУ. При этом ротор имеет осевое отверстие, предназначенное для расположения в нем подвижной части датчика угла (данное исполнение ротора может быть использовано как основа для разработки аналога имеющегося ДУ). Имеющийся двухкоординатный ДУ выполнен на основе двух индукционных датчиков, работающих в трансформаторном режиме. Первая сигнальная обмотка (СО1) измеряет положение ротора в одной плоскости; вторая сигнальная обмотка (СО2) измеряет положение ротора в перпендикулярной плоскости, относительно к первой обмотке [2]. Принцип работы датчика, заключается в определении индуцируемого напряжения в каждой из сигнальных обмоток датчика, которые в свою очередь зависят от величины магнитного потока. При перемещении ферромагнитного элемента ДУ – грибка, относительно датчика, магнитный поток в цепи перераспределяется, тем самым выходное напряжение на сигнальных обмотках изменяется. Конструктивное оформление ДУ, а также его внешний вид представлены на рисунках 1а и 1б.

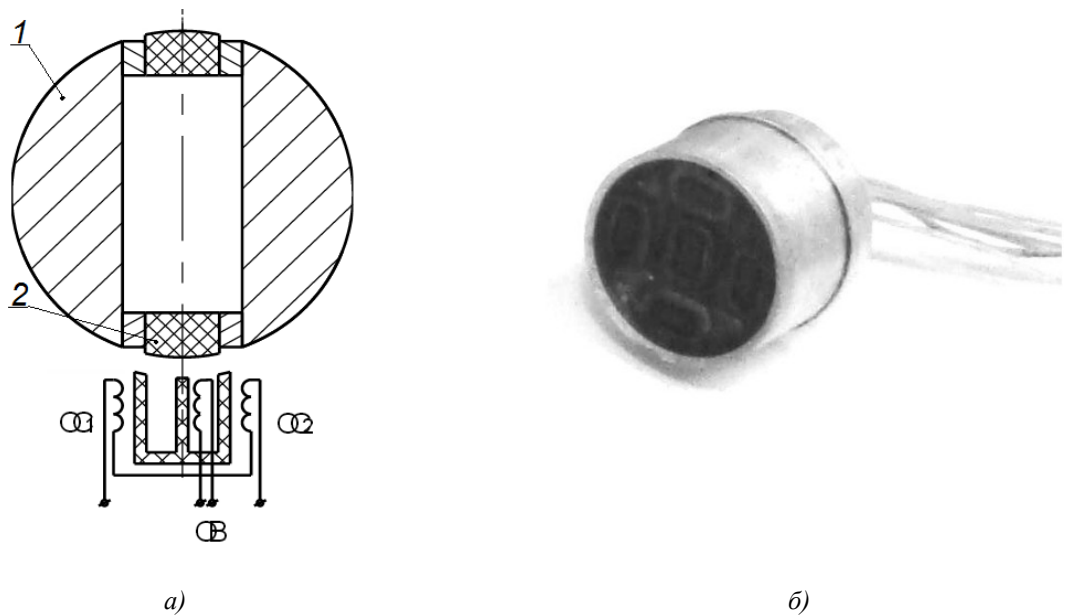


Рис. 1. а) конструктивное оформление ротора и ДУ: ОВ – обмотка возбуждения; ОС – сигнальная обмотка; 1- шаровой ротор; 2 – подвижная часть ДУ (грибок); б) внешний вид ДУ

Достоинство данного ДУ заключается в возможности реализации конструкции этого типа датчика в относительно малых массогабаритных параметрах. Основным же его недостатком является то, что при повороте оси вращения ротора в зазоре магнитной цепи возникает момент сил, направленный в обратную сторону этого смещения, что приводит к ложной величине отклонения оси на маленький угол, зависящий от величины момента сил датчика.

В дальнейшем, планируется провести ряд экспериментов для определения чувствительности имеющегося ДУ и возможной доработке с целью увеличения точностных характеристик, уменьшения величины нулевого сигнала, который характеризует величину минимального угла отклонения, при котором датчик начинает реагировать на перемещение подвижной части датчика.

Согласно специфике конструкции разрабатываемого гироскопического устройства и предъявляемым требованиям к ДУ, наиболее подходящими аналогами для съема информации об угловом положении ротора, могут оказаться емкостные и оптические ДУ.

Принцип действия ДУ емкостного типа основан на изменении электрической ёмкости от взаимного расположения обкладок конденсатора или от свойств среды, в котором накапливается энергия электрического поля [3]. Основным недостатком данного типа ДУ является сложность его реализации, поскольку для получения требуемой точности, необходимо разместить обкладки датчика угла таким образом, чтобы шаровой ротор находился между ними, причем, чем ближе они будут расположены к нему, тем выше будет точность.

Еще одним недостатком ДУ емкостного типа является возможное изменение параметров рабочей среды (потока воздуха, плотности и т.д.) при вращении ротора, что существенно скажется на выходном сигнале. Но, несмотря на ряд имеющихся недостатков, данный тип датчика угла подходит под выше представленные требования; точность емкостного ДУ может оказаться достаточной.

Еще одним потенциальным вариантом ДУ является оптический датчик, который по виду выходной информации подразделяется на следующие типы: накапливающие и абсолютные. Накапливающие ДУ, на выходе формируют импульсы, по которым принимающее устройство определяет текущее положение ротора путем подсчета числа импульсов счётчиком. Для определения направления вращения ротора применяются два измерительных канала («синусный» и «косинусный»), в которых идентичные последовательности импульсов сдвинуты на  $90^\circ$  относительно друг друга [4]. В момент включения оптического ДУ накапливающего типа положение ротора неизвестно. Для привязки к началу отсчета, инкрементные датчики имеют нулевые метки, через которые нужно пройти после подачи питания. К недостаткам такого типа датчиков углового положения относится то, что невозможно определить пропуск импульсов от ДУ. Это приводит к накоплению ошибки определения угла поворота ротора до тех пор, пока не будет пройдена нуль-метка.

Абсолютные ДУ имеют на выходе сигналы, которые можно однозначно интерпретировать как углы поворота ротора относительно опорной системы координат связанной с корпусом прибора. Датчики угла этого типа не требуют привязки системы отсчёта к какому-либо нулевому положению. Для реализации данного типа оптического ДУ последующая доработка шарового ротора не потребуется. Для снятия информации об угловом положении оси вращения необходимо будет нанести специальное покрытие. В этом и состоит исключительное преимущество данного типа ДУ, поскольку любые дополнительные включения, а также наличие сквозного отверстия у шарового ротора может привести к разбалансировке и последующим паразитным вибрациям. Но основным недостатком такого типа ДУ является сложность его изготовления для двухкоординатного измерения.

Рассмотрев принципы действия, достоинства и недостатки трех различных типов датчиков съема информации об угловом положении ротора гироскопического устройства, можно сделать следующие выводы. Проектирование емкостных ДУ является одной из наиболее сложных задач. Для получения максимальной чувствительности такого типа датчика необходимо провести некоторые доработки с ротором, что значительно усложнит процесс его изготовления. Но, несмотря на эти конструктивные изменения,

точность данного типа датчика все же может не соответствовать требуемой. Для подтверждения данного предположения необходимо провести ряд теоретических и экспериментальных исследований.

Оптический тип ДУ, по сравнению с индукционным типом датчика угла, имеет более высокую точность. Также, быстродействие оптического ДУ на порядок выше, чем у индукционного, в связи с оптическим излучением в среде менее плотной, чем среда магнитной цепи. Но этот тип датчика, также как и емкостный, можно отнести к наиболее сложнореализуемым.

Индукционный тип ДУ, по ряду своих параметров, подходит для решения поставленной задачи: здесь нельзя не отметить его относительную простоту, невысокую стоимость и малые габариты. Но данный тип ДУ имеет свои, описанные ранее недостатки, которые в оптических датчиках углового положения отсутствуют.

На основании проведенного анализа представленных типов ДУ, можно сказать о том, что для решения поставленной задачи наиболее предпочтительными являются оптический и индукционный датчики угла. В дальнейшем, будет разработана конструкция оптического ДУ, рассчитаны его основные параметры, с целью применения его в качестве альтернативы индукционному датчику угла. Обеспечение наиболее подходящего типа ДУ для разработанной конструкции шарового гироскопа является основным результатом исследовательской работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников П.В., Васильченко Р.А. Теоретическое исследование основных элементов шарового гироскопа // Материалы VII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум». – (<http://www.scienceforum.ru/2016/1552/25044>).
2. Игнатовская А.А. (Кузьма А.А.) Датчик углового положения ротора макета шарового гироскопа // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2013. –Т. 1. –с. 175-177. – (<http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C01/V1/087.pdf>).
3. В. И. Добренков. Датчик емкостной угла поворота, А.С № 905630. Бюллетень «Открытия и изобретения» №6 – 1982.
4. Прокопенко О.В. Абсолютная линейная измерительная система//Справочник заказчика. – (<http://mail.8testov.ru/books/16171-absolyutnaya-lineynaya-izmeritelnaya-sistema.html>).